

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵
صفحات ۶۱۷ تا ۶۳۲

تحلیل حساسیت الگوی بار نیتروژن ورودی به آب رودخانه با روش

واریانس مبنای طرح متعادل تصادفی، مطالعه موردی: حوضه آبریز

رودخانه توید

مجید جانفدا^{۱*}، داود شاهسونی^۲

۱. کارشناس ارشد آمار، دانشگاه شاهرود، دانشکده علوم ریاضی، گروه آمار

۲. استادیار، دانشگاه شاهرود، دانشکده علوم ریاضی، گروه آمار

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۷/۷ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۴/۶/۲۴)

چکیده:

وجود بیش از حد ترکیبات نیتروژنی در منابع آب یکی از عوامل تهدید کننده حیات انسان و آبریان بشمار می‌رود. لذا شناخت و کنترل متغیرهای موثر بر نیتروژن ورودی به منابع آب، از اهمیت بسزایی برخوردار است. بررسی متغیرهای موثر با نمونه‌گیری، عملاً به علت تنوع دشوار است. متغیرهای موثر را می‌توان توسط فنون ریاضی و ابداع راهکارهای شبیه‌سازی رایانه‌ای، شناسایی نموده و عملاً از عوامل با اثرات ناچیز صرف نظر کرد تا بتوان منابع مالی را برای کنترل تعداد معدودی از عوامل بهینه صرف نمود. الگوهای متعددی برای برآورد میزان این ترکیبات ساخته شده است. در این مقاله از الگوی پرکاربرد INCA-N، به منظور انجام تحلیل حساسیت و کاهش تعداد متغیرها استفاده شده است. INCA-N شامل تعداد زیادی متغیر ورودی است. لذا شناسایی متغیرهای بی‌تاثیر یا کم‌تاثیر حائز اهمیت است. روش تحلیل حساسیت واریانس- مبنای خوبی می‌تواند متغیرهای مهم را شناسایی و حساسیت خروجی الگو را نسبت به متغیرها توسط شاخص حساسیت اصلی ارزیابی کند. این مقاله ضمن معرفی روش واریانس- مبنای و برآورد شاخص حساسیت اصلی با روش طرح متعادل تصادفی (RBD) به تحلیل حساسیت خروجی الگو INCA-N و کاهش متغیرها در رودخانه توید می‌پردازد. نتایج تحلیل حساسیت در حجم نمونه‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ و عدم قطعیت نتایج با شبیه‌سازی مجدد نمونه‌ها به تعداد ۵۰ تکرار بررسی شد. نتایج نشان داد که چهار متغیر (میزان جذب نیترات گیاهان، نرخ نیترات‌زدایی، آلی‌سازی و معدنی‌سازی) از هفت متغیر الگو INCA-N کفایت می‌کند. سه متغیر نیتروژن هوا، جذب آمونیاک توسط گیاه و بیشینه جذب نیتروژنی غیرضروری هستند. این چهار متغیر ضروری به ترتیب دارای اثر اصلی ۰/۴۵۶، ۰/۲۰۷، ۰/۲۰۴، ۰/۰۹۷ هستند. اثرات متقابل بین متغیرها ضعیف (۰/۰۳۶) و قابل چشم‌پوشی است. بنابراین روش تحلیل حساسیت طرح متعادل تصادفی کارایی مناسبی در کاهش متغیرهای این پدیده دارد.

کلید واژگان: نیتروژن، تحلیل حساسیت واریانس- مبنای، طرح متعادل تصادفی، الگو INCA-N

تغییر می‌شود. کودهای شیمیایی سبب افزایش این ماده در خاک، آبهای جاری و زیر زمینی می‌شوند. ورود نیتروژن به آب رودخانه‌ها موجب رخدادن پدیده یوتروفیکاسیون می‌باشد. این پدیده سبب غنی شدن اکوسیستم‌های آبی از مواد مغذی همچون نیتروژن و فسفر است که باعث پایین آمدن کیفیت آب برای زندگی آبزیان و مصرف شرب می‌شود. نیترات از طریق آب و مواد غذایی وارد بدن انسان شده و افزایش سطح آن موجب می‌شود که به ترکیبات دیگری چون نیتريت و نیتروسامین تبدیل شود که این ترکیبات، سمی بوده و برای سلامت انسان خطرناک هستند. وجود بیش از حد ترکیب‌های نیتروژن‌دار می‌تواند مانعی جدی در انتقال اکسیژن در خون باشد. نیترات در حالت بحرانی باعث بروز بیماری‌هایی مانند سرطان، ناقص‌الخلقه بودن نوزادان، بزرگ شدن تیروئید و التهاب غدد لنفاوی می‌شود. با توجه به اهمیت آب آشامیدنی و تاثیر مستقیم آن بر سلامت شهروندان، موضوع کنترل و پیشگیری از افزایش نیترات به سطوح بحرانی، امری اجتناب‌ناپذیر است (Bhattacharya and Gupta., 2006; Mishra and Patel., 2009; Ozturk and Ennil Kose., 2008; Xing., *et al.*, 2010). متغیرهای موثر در فرآیند چرخه نیتروژن متنوع هستند. اندازه‌گیری آن‌ها توسط نمونه‌گیری پرهزینه بوده و همچنین زمان‌بر و مشکل است. لذا متخصصین راهکار شبیه‌سازی را با بنیان ریاضی و صرف هزینه کم، سرعت زیاد و کارایی مناسب ابداع کرده‌اند که منجر به خلق الگوهای متعددی برای

۱. مقدمه

حدود ۷۸ درصد از جو زمین را نیتروژن تشکیل داده است که بخشی از آن طی فعل و انفعالاتی در طبیعت، به طور مداوم از جو گرفته شده و به آن بازپس داده می‌شود. رعد و برق و تخلیه‌ی بار الکتریکی نیز باعث تولید اکسیدهای نیتروژن می‌شود. ترکیبات نیتروژن‌دار و آمونیاک نیز پس از حل شدن این اکسیدها در آب تولید می‌شود. این ترکیبات پس از فرآیندهای خاصی به مصرف گیاهان می‌رسند. مقداری از آمونیاک مازاد مصرف گیاهان در دو مرحله، که نیترات‌سازی^۱ نام دارد، اکسید می‌شود. در مرحله اول به نیتريت و در مرحله بعد به نیترات تبدیل می‌شود. وقتی گیاهان، مرده و فاسد می‌شوند تجزیه شده و آمونیاک دوباره از طریق عملی به نام معدنی‌سازی^۲ به خاک یا محلول باز می‌گردد. نیتريت و نیترات تحت فرایند نیترات‌زدایی^۳ به ترکیبات دیگری تبدیل می‌شوند. بعضی از باکتریها باعث تبدیل نیتريتها به آمونیاک و شکل گازی نیتروژن یعنی گازهای N_2 ، NH_3 و N_2O هستند که مستقیماً وارد جو می‌شوند. بدین ترتیب تقریباً همان اندازه نیتروژنی که از جو گرفته و مصرف شده است، در چرخه نیتروژن دوباره به آن باز می‌گردد. چرخه نیتروژن، تحت تاثیر استفاده از کودهای شیمیایی و تراوش پساب‌های صنعتی به منابع آب، دستخوش

¹ Nitrification

² Mineralization

³ Denitrification

مونت کارلو^۶ و غربالگری^۸ اشاره نمود. هریک از روش‌های مذکور به منظور نیل به هدف خاصی طراحی و توسعه یافته‌اند (Saltelli and Homma, 1993; Morris, 1997; Hornberger and Spear, 1981; Helton, *et al.*, 2006; Campolong *et al.*, 2007). این روشها دارای نواقص و معایبی هستند که روش تحلیل حساسیت واریانس- مینا برای رفع این ایرادات ارائه شده است (Saltelli, *et al.*, 2008). روش طرح متعادل تصادفی، یکی از روش‌های شناخته شده در رده‌ی روش واریانس مینا است.

هدف و نوآوری این مقاله، تحلیل حساسیت و کاهش متغیرهای الگوی تعیینی INCA-N^۹ توسط روش واریانس مینا طرح متعادل تصادفی است. خروجی نهایی الگو مذکور، متوسط سالانه بار نیتروژن ورودی به رودخانه است که تحت تاثیر صدها متغیر ورودی است. به دلیل اهمیت متغیرهای نرخ تبادلات نیتروژنی، تمرکز این مطالعه فقط بر روی این دسته از متغیرها صورت پذیرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲ منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه توید^{۱۰} انگلستان به عنوان منطقه مطالعاتی، در نظر گرفته شده است. این رودخانه در ارتفاع ۱۶۹ متری از سطح دریا قرار دارد.

برآورد میزان بار نیتروژن ورودی به رودخانه‌ها شده است (Morris, 1991). پیکربندی این الگوها بر اساس معادلات دیفرانسیل خطی، غیرخطی و مشتق-های جزئی است. کد یا نرم افزار رایانه‌ای که بتواند این معادلات را حل نماید، الگوی رایانه‌ای^۱ و اجرای این الگو با ورودی‌های مختلف را آزمایش رایانه‌ای^۲ می‌گویند (Santner, *et al.*, 2003). خروجی یک آزمایش رایانه‌ای، قطعی^۳ (جبری) است یعنی اجرای مکرر آزمایش با ورودی یکسان، خروجی‌های همانند تولید می‌کند. الگو فرایند مینا^۴ INCA-N یکی از معروفترین آن‌ها برای برآورد میزان نیتروژن ورودی به آب رودخانه‌ها است. معادلات جنبشی واکنش‌ها و مکانیزم‌های اصلی عملیاتی رودخانه در این الگو شبیه‌سازی می‌شوند. این الگو در ۱۰ حوضه آبریز انگلستان و ۲۱ حوضه آبریز دیگر کشورهای اروپایی و سایر کشورها به کار گرفته شده و نتایج رضایت بخشی ارائه داده است (Medici, *et al.*, 2010; Wade, *et al.*, 2002; Whitehead, 2007; Whitehead, *et al.*, 1998:2008).

کاهش تعداد متغیرهای ورودی و ساده‌سازی الگوهای رایانه‌ای به علت تنوع متغیرها و وجود اثرات متقابل آنها، ضرورتی است که در قالب تحلیل حساسیت الگوهای تعیینی به آن پرداخته می‌شود (Saltelli, *et al.*, 2008). روش‌های تحلیل حساسیت متنوع بوده که از آن جمله میتوان به روش‌های مشتق مینا^۵، نمونه‌گیری مینا^۶، صافی

⁶ Sample base method

⁷ Monte Carlo filtering method

⁸ Screening method

⁹ Integrated Nitrogen in Catchments

¹⁰ Tweed

¹ Computer Model

² Computer Experiment

³ Deterministic Model

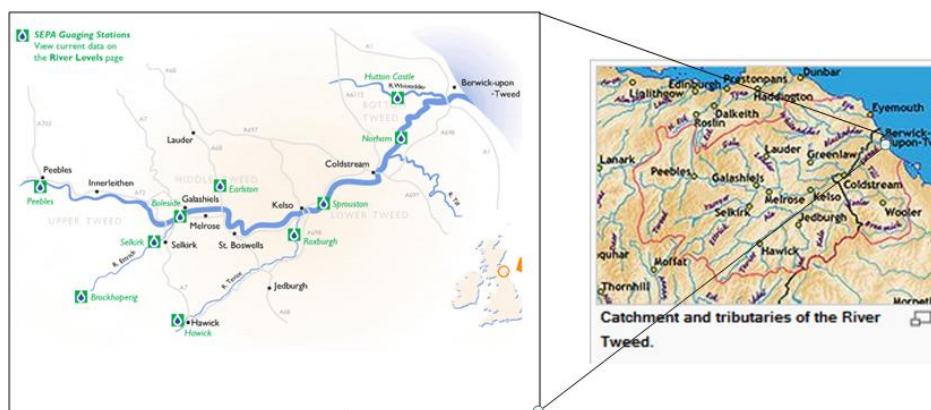
⁴ Process-based

⁵ Derivate base method

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵ صفحه ۶۲۰

آمار آب و هواشناسی شامل دما، رطوبت، بارش و دبی روزانه ۲۱ ایستگاه واقع در حوضه به مدت هفت سال در اختیار است. نمونه‌های برداشت شده از آب رودخانه طی سال‌های ۱۹۹۴-۱۹۹۹ از ایستگاه‌های مختلف آب‌سنجی داخل حوزه نیز در دسترس است (Jarvie, et al., 2002).

مساحت حوضه آبریز ۴۳۹۰ کیلومترمربع و طول رودخانه اصلی ۱۵۶ کیلومتر است. این حوضه در عرض شمالی $55^{\circ}44'$ تا $55^{\circ}45'$ و طول شرقی $3^{\circ}49'$ تا $3^{\circ}49'$ درجه ($1^{\circ}59'27''$ تا $3^{\circ}29'46''$) قرار دارد. شکل (۱) موقعیت و شاخه‌های آبراه‌های توید را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت و شاخه‌های آبراه‌های رودخانه توید

ازپنج مولفه: GIS، الگوهای نیتروژن ورودی، هیدرولوژیکی، فرآیندهای نیتروژن حوضه آبریز و عملکردهای نیتروژن رودخانه تشکیل شده است (Wade, et al., 2002; Whitehead, 2007; Reading, et al., 1998:2008). این الگو ثمره تلاش بیش از یک دهه اساتید دانشگاه انگلستان و انجمن‌های تحقیقاتی فعال در محیط زیست، سرمایه‌گذاری و حمایت اتحادیه اروپا است (Ranzin, et al., 2007). معادلات فرآیندهای این الگو، طی سال‌های اخیر، تغییر و بهبود یافته‌اند.

۲،۲ الگو INCA-N

الگوی جبری INCA-N، فرآیند- مبنا است و میزان جریان آب و نیتروژن را در یک حوضه آبریز با معادلات جنبشی واکنش تعیین می‌کند. همچنین عوامل و فرآیندهای تاثیرگذار بر میزان نیترات (NO_3) و آمونیاک (NH_4) ذخیره شده در خاک و سامانه‌های آب زیر زمینی را شبیه‌سازی و خروجی را با استفاده از این سامانه در یک الگوی رودخانه چند آبراه‌ای تولید می‌کند. ساختار الگوی INCA-N

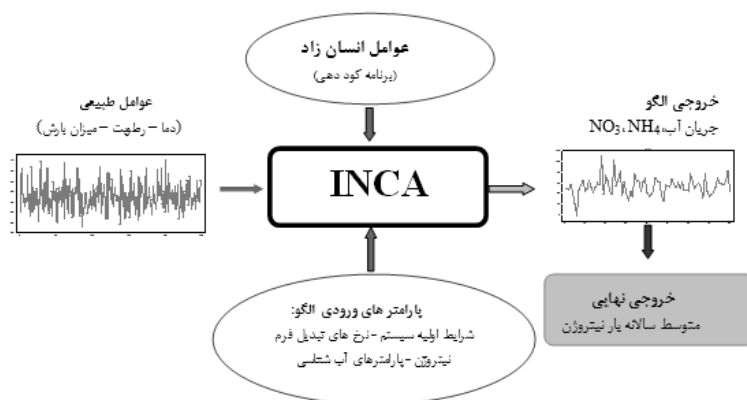
شکل (۲) نشان داده شده است (Shahsani and Grimvall., 2011). جدول (۱) مشخصات پارامترهای ورودی‌ها است. ورودی‌های الگو شامل: عوامل طبیعی (بارش، دما و ...)، دخالت انسانی (کوددهی، انتقال مستقیم و ...) و پارامترهای الگو (شرایط اولیه، نرخ تبادلات نیتروژن، پارامترهای هیدرولوژیکی) هستند. خروجی شامل سری‌های زمانی دبی روزانه، غلظت‌های نترات و آمونیاک در ایستگاه‌های مختلف آب‌سنجی واقع در طول مسیر رودخانه اصلی است. این سه سری زمانی، توسط رابطه (۱) ترکیب شده و میزان بار نیتروژن غیرآلی روزانه را نتیجه می‌دهد.

(۱) میزان غلظت آمونیوم + میزان غلظت

نترات (× دبی آب = بار نیتروژن غیرآلی روزانه

با توجه به آمار و اطلاعات در دسترس، سری زمانی بار نیتروژن، هفت ساله است. لذا خروجی نهایی، با میانگین‌گیری از متوسط‌های سالیانه به‌دست آمده و آن را "متوسط سالانه بار ورودی نیتروژن غیر آلی به رودخانه" می‌نامند.

تاکنون این الگو برای کشورهای اروپایی که شرایط اقلیمی متفاوت نسبت به ایران دارند استفاده شده است. آزمون و اعتبارسنجی مدل توسط بسیاری از رودخانه‌های مهم کشورهای اروپایی مانند: انگلستان (۱۰ رودخانه)، فرانسه (۷ رودخانه)، هلند (۶ رودخانه) و نروژ (۲ رودخانه)، اسپانیا (۱ رودخانه)، دانمارک (۱ رودخانه) و رومانی (۲ رودخانه) پس از تصحیح و انطباق اطلاعات منطقه مورد مطالعه با پنج مولفه ساختاری مدل انجام شده است. نتایج بگونه‌ای بوده که از آن در سایر کشورها مانند برزیل (رودخانه جنگل آتلانتیک) نیز استفاده شده است (Whitehead, et al., 2008). الگوی INCA-N را می‌توان برای نشان‌دادن تاثیرمنابعی مانند شهرنشینی، تغییرات آب و هوایی، مدیریت اجرایی، مدیریت‌های بومی (افزایش یا کاهش زمین، تغییر در مقدار یا توزیع NO_2 و NH_3) استفاده کرد. قابلیت بالا و خروجی‌های متنوع این الگو (به دلیل وجود ساختار یکپارچه و پیچیده در آن) امکان شبیه‌سازی چرخه نیتروژن را در حوضه آبریز فراهم می‌کند (Whitehead, et al., 1998). ساختار این الگو در



شکل ۲ - شمای ساختار الگوی INCA-N

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵ صفحه ۶۲۲

جدول (۱) - مشخصات پارامترهای ورودی الگو INCA-N

گروه	نام متغیر	واحد	دامنه تغییرات
شرایط اولیه	X_1 : جریان سطحی	m ³ /s	[۰, ۰/۰۱]
	X_2 : نیترات سطحی	mg N/l	[۰, ۱۰]
	X_3 : آمونیوم سطحی	mg N/l	[۰, ۲]
	X_4 : حجم زه کش سطحی	m ³	[$10^5, 10^7 \times 2$]
	X_5 : جریان زیرسطحی	m ³ /s	[۰, ۰/۰۱]
	X_6 : نیترات زیز سطحی	mg N/l	[۰, ۱۰]
	X_7 : آمونیوم زیرسطحی	mg N/l	[۰, ۲]
	X_8 : حجم زه کش زیرسطحی	m ³	[$10^5, 10^7 \times 2$]
متغیرهای نرخ تبادلات نیتروژنی	X_9 : نیترات زدایی	mol/day	[۰, ۰/۰۱]
	X_{10} : ثابت نیتروژن جو	kg N/ha/day	[۰, ۰/۰۱]
	X_{11} : نیترات جذبی گیاهان	mol/day	[۰, ۰/۰۵]
	X_{12} : بیشینه نیترات جذبی	kg N/ha/year	[۸۰, ۱۴۰]
	X_{13} : معدنی سازی	kg N/ha/day	[۰, ۱]
	X_{14} : آلی سازی	mol/day	[۰, ۰/۱]
پارامترهای هیدرولوژیکی	X_{15} : جذب آمونیوم گیاهی	mol/day	[۰, ۰/۰۵]
	X_{16} : کمبود رطوبت خاک	Mm	[۱۰۰, ۱۷۰]
	X_{17} : زمان ماندگاری آب در خاک	Day	[۰/۰۵, ۵]
	X_{18} : زمان ماندگاری آب زیرزمین	Day	[۱۰۰, ۲۰۰]
	X_{19} : بیشترین حجم نگهداری آب در خاک	M	[۰/۱, ۰۱]

نیز تقابل هر یک از آن‌ها با سایر متغیرها در مدیریت ریسک اهمیت دارد. هزینه‌های: تحمیلی، نگهداری و کنترل متغیرها نیز اهمی است که تصمیم‌گیری را با چالش مواجه می‌سازند. از این رو برای تصمیم‌گیری، به‌ویژه در مواقع بحرانی، بایستی متغیرهای بااهمیت قابل کنترل و غیرقابل کنترل، کم‌اهمیت و بی‌اهمیت شناسایی شوند. لذا تحلیل حساسیت از دیدگاه مدیریتی موجب می‌شود تا تصمیمات از پشتوانه محکم و منطقی برخوردار باشند و نتایج حاصل از این

۳.۲ تحلیل حساسیت

تعدد و تنوع متغیرهای ورودی در الگوهای رایانه‌ای سبب پیچیدگی آن می‌شود و لذا مسئله ساده‌سازی الگو، حائز اهمیت است (اصل امساک). این مهم با شناسایی متغیرهای ضروری و کنار گذاشتن متغیرهای غیرضرور در قالب تحلیل حساسیت بررسی می‌شود. اندازه‌های حساسیت میزان اهمیت متغیرهای ورودی را بیان می‌کند. تاثیر گذار یا بی‌تاثیر بودن متغیرها و

این مسیر گذاشتند. از آن جا که طول زمان اجرای الگو، پارامتری مهم جهت انتخاب روش تحلیل حساسیت به شمار می‌رود، Tarantola در ادامه توسعه روش FAST، در سال ۲۰۰۶ برای نخستین بار روش طرح متعادل تصادفی (RBD) را برای محاسبه شاخص حساسیت مرتبه اول ارائه داد. بنیان این روش به شرح زیر است.

۴.۲ معرفی شاخص حساسیت

یکی از راهکارهای اندازه‌گیری حساسیت خروجی الگو نسبت به متغیرهای ورودی این است که تمامی متغیرهای ورودی بجز متغیر X_i ثابت باشند و تنها متغیر X_i مقادیر مختلفی روی دامنه تغییراتش اختیار نموده و خروجی الگو محاسبه شود. طبیعتاً اگر متغیر موردنظر یک عامل تاثیرگذار باشد، بایستی خروجی الگو با نوسانات شدیدی همراه باشد. این اندازه حساسیت از دیدگاه ریاضی به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

(۲)

$$V_i = V_{X_i} (E_{X_{-i}} (Y | X_i))$$

که X_{-i} نشان دهنده تمام عوامل به جز X_i است. عملگر E در عبارت $V_{X_i} (E_{X_{-i}} (Y | X_i))$ ، امیدریاضی Y را وقتی که فقط عامل X_i ثابت باشد اندازه‌گیری می‌کند. واریانس این مقادیر توسط عملگر واریانس V به ازای تمام مقادیر ممکن X_i محاسبه می‌شود. میزان حساسیت خروجی الگو نسبت به پارامتر ورودی X_i با تقسیم این کمیت بر واریانس Y مطابق رابطه (۳) اندازه‌گیری می‌شود.

تصمیم‌گیری نیز تا حد امکان بهینه شوند. می‌توان از آن به عنوان ابزاری برای کشف خطاهای فنی در الگو، شناسایی نواحی بحرانی متغیرهای ورودی، اولویت بندی متغیرهای مورد بررسی و ساده‌سازی الگو نیز بهره گرفت (Saltelli, 2002; Saltelli, et al., 2008). لذا تحلیل حساسیت الگوهای تعیینی رویکردی مهم در مدیریت و پژوهش تلقی می‌شود.

تحلیل حساسیت الگوهای رایانه‌ای از دیدگاه آماری عبارتست از "بررسی نوسانات متغیر پاسخ (خروجی) بر اثر تغییرات متغیرهای توضیحی (ورودی)" (Saltelli, et al., 2004). این کار براساس نیازهای مختلف با روش‌ها و شاخص‌های حساسیت گوناگونی انجام می‌شود. روش واریانس مبنا توانایی‌های مناسبی در تحلیل حساسیت الگوهای خطی و غیرخطی دارد (Saltelli, et al., 2008). این روش نخستین بار توسط Cuiker و همکارانش مطرح شد (Cukier, et al., 1973; 1975; 1978). شاخص‌های حساسیت این روش بر مبنای امید ریاضی و واریانس شرطی بیان می‌شوند. روش این محققین تحت عنوان روش FAST¹ شناخته می‌شود. در همین راستا شاخص‌های دیگری با عنوان اندازه اهمیت و نسبت همبستگی معرفی شدند (Homma and Saltelli, 1996; Iman and Hora, 1990; Ishigami and Homma, 1996; Krzykacz, 1990; Mckay 1996; Saltelli and Sobol, 1995; Saltelli and Homma, 1993; Saltelli, et al., 1999; Sobol, 1998; 1993). Saltelli و همکارانش در سال ۱۹۹۹ کارآیی روش FAST را افزایش داده و با طرح روش اصلاح شده EFAST (Extended Fast) گامی نو در

¹ Fourier Amplitude Sensitivity Test

اساسی در محاسبه شاخص حساسیت مرتبه اول

(۳)

وجود دارد

$$S_i = \frac{V(E(Y|X_i))}{V(Y)} \quad 0 \leq S_i \leq 1$$

• بعد فضای انتگرال گیری بسیار بالا است.

• رابطه ریاضی ورودی- خروجی (f) به طور

صریح معلوم نیست.

این مشکلات سبب طرح مسئله تقریب انتگرال ها و در

نتیجه برآورد شاخص حساسیت مرتبه اول می شود.

الگوریتم برآورد شاخص حساسیت با طرح متعادل

تصادفی^۲ (RBD)

روش طرح متعادل تصادفی، برای تقریب انتگرال های

موجود در شاخص حساسیت از تجزیه طیف فوریه

استفاده می کند. الگوریتم این روش با دو گام زیر

انجام می شود.

-گام اول: تولید نقاط آزمایش و اجرای مدل:

۱- مجموعه مرتب شده N تایی

$$A = \{m \mid m = \pi + (i-1)(2\pi/(N-1)), i = 1, 2, \dots, N\}$$

شامل نقاطی با فواصل مساوی در بازه $(-\pi, \pi)$

در نظر بگیرید. یک جایگشت N تایی از مجموعه A

برای هر X_i (با $i = 1, 2, \dots, k$) به صورت

$$S_i = (s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{iN})$$

۲- هر یک از بردارهای S_i تولید شده در

مرحله قبل را تحت تابع تبدیل

$$X_i(S_i) = G(\sin(\xi_{ij})) \quad (j = 1, 2, \dots, N)$$

تا مجموعه مقادیر (نقاط آزمایش) به بازه $(-1, 0)$

منتقل گردد سپس با تبدیل مناسب بردارهای

$$(X_1, \dots, X_k)$$

بدست آید. G تابع تبدیل مناسب برای

X_i به صورت $G(t) = 0.5 + \arcsin(t)/\pi$ است (۲۳).

۳- مقادیر تابع f را به ازای هر سطر

هر چه میزان اهمیت متغیر X_i بیشتر باشد، مقدار S_i

به یک نزدیکتر خواهد بود و بالعکس اگر متغیر مورد

بررسی بی اهمیت یا کم اهمیت باشد آنگاه S_i به صفر

میل خواهد کرد. این شاخص، یک کمیت بدون

مقیاس است که آن را شاخص حساسیت مرتبه اول یا

اثر اصلی X_i می نامند (Saltelli, 2002). می توان

شاخص حساسیت مرتبه دوم را به طور مشابه با ثابت

نگه داشتن تمامی متغیرهای به جز دو متغیر X_i و

X_j اندازه گیری نمود. ثابت می شود که مجموع تمامی

اثرات مرتبه اول، دوم و مراتب بالاتر از نظر ریاضی

برابر با یک است (رابطه ۴).

(۴)

$$1 = \sum_{i=1}^k S_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} S_{ij} + \dots + S_{1,2,\dots,k}$$

این بدان معنی است که اگر مجموع اثرات اصلی

$$\sum_{i=1}^k S_i = 1$$

متغیرها برابر با یک باشد ($i=1$)، آنگاه اثرات

متقابل دیگری بین متغیرهای الگو وجود نخواهد

$$\sum_{i=1}^k S_i < 1$$

داشت و الگو، جمعی^۱ خواهد بود. اگر $i=1$ ،

بدین معنا است که اثر متقابل بین متغیرها وجود دارد

که الگو را در این حالت غیرجمعی می گویند. اثر

اصلی برای همه متغیرهای ورودی براساس تعاریف

ریاضی انتگرال هایی چند بعدی از تابع تحت بررسی

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_k)$$

هستند. لذا دو مشکل

² Random Balance Design

¹ Additive

شده که در این پژوهش از روش بوت استرپ^۱ استفاده شده است (Archer, et al., 1997). فاصله اطمینان بوت استرپی برای اثر اصلی متغیر X_i در این روش مطابق رابطه ۵ است.

(۵)

$$\hat{S}_i \pm 1.96 \times \sqrt{\frac{1}{B-1} \sum_{b=1}^B (S_i^b - S_i^{*b})^2}$$

که در آن \hat{S}_i برآورد شاخص حساسیت مرتبه اول نمونه اولیه، B تعداد نمونه‌های جایگذاری، S_i^b برآورد شاخص حساسیت اول در نمونه با جایگذاری

$$S_i^{*b} = \frac{1}{B-1} \sum_{j=1}^B S_i^b \text{، } m-b \text{ است.}$$

۳. نتایج

هدف این بررسی تحلیل حساسیت و حذف متغیرهای غیرضروری در الگوی نیتروژن INCA-N به کمک روش واریانس مبنا طرح متعادل تصادفی است. تعداد متغیرهای مورد بررسی الگو ۷ عدد است که باید با روش تحلیل حساسیت کاهش یابند (جدول ۱). حجم نمونه‌های مختلف، برآوردهای متفاوتی از شاخص حساسیت ارائه می‌کند. لذا حجم نمونه‌های ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ جهت سنجش کارایی روش RBD به کار برده شد. فرآیند شبیه‌سازی ۵۰ بار برای بررسی عدم قطعیت برآوردها تکرار شد. اثر اصلی متغیرها در هر تکرار برآورد شد که نتایج با فاصله اطمینان بوت استرپی و در جداول (۲ و ۳) و شکل (۳)

$$Y_j = f(X_1(s_{1j}), \dots, X_k(s_{kj})) \quad (j = 1, 2, \dots, N)$$

پس از N بار اجرای مدل بدست آورید.

گام دوم: برآورد شاخص حساسیت، برای هر یک از متغیرهای توضیحی X_i بایستی مراحل زیر انجام شود.

$$S_i = (s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{iN}) \quad i = 1, \dots, N$$

در نظر گرفته و بردار (Y_1, \dots, Y_N) را متناظر با آن مرتب کنید $(Y_i^R(s_{ij}))$.

۲- تبدیل فوریه مختلط $Y_i^R(s_{ij})$ با بسامدهای هارمونیک $W = 1, 2, \dots, M$ را مطابق

$$F(w) = \left| \frac{1}{\pi} \sum_{j=1}^N Y_i^R(s_{ij}) \exp(-i w C_j) \right|^2$$

آورید. معمولاً M (تداخل امواج) برابر با ۴ یا ۶ و C_j ضریب فوریه مختلط می باشد.

۳- برآورد اثر اصلی متغیر X_i برابر با

$$\hat{S}_i = \hat{V}_i / \hat{V}(Y) \quad \text{و} \quad \hat{V}_i = \sum_{w=1}^M F(w)$$

$$\hat{V}(Y) = \sum_{w=2}^N F(w) \text{ است.}$$

۲،۵ بررسی عدم قطعیت در پیش‌بینی‌ها

از آنجا که برآورد شاخص حساسیت مبتنی بر نمونه‌های تصادفی S_1, \dots, S_k است. لذا با تکرار نمونه‌گیری برآوردهای جدیدی برای شاخص‌های حساسیت به دست می‌آید. بنابراین ضروری است تا مساله میزان اطمینان شاخص حساسیت توسط فاصله اطمینان $100(1-\alpha)\%$ برآورد شود (α ضریب اطمینان). فنون متفاوتی برای این منظور پیشنهاد

¹ Bootstrap

محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵ صفحه ۶۲۶

انحراف معیار در نمونه‌های ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ تایی حدود ۰/۰۱ و ۰/۲۸ است. ضریب تغییرات برحسب حجم نمونه ۰/۶۶ تا ۱/۹۵ است که نشان می‌دهد حجم نمونه تاثیر کمی در این متغیر دارد.

۵. "نرخ معدنی‌سازی". میانگین و انحراف معیار شاخص حساسیت برای این متغیر در حجم نمونه‌های مختلف به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۲۷ است (جدول ۳). نوسانات میانگین و انحراف معیار در نمونه‌های ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ تایی حدود ۰/۰۲۲ و ۰/۱۰۵ است. ضریب تغییرات برحسب حجم نمونه ۲/۴۸ تا ۳/۰۵ است که نشان می‌دهد حجم نمونه تاثیر در این متغیر دارد اما این تاثیر چشمگیر نیست.

آمده است. متغیرهای تاثیرگذار و ضروری در الگو براساس شاخص‌های حساسیت و نتایج به دست آمده در جداول (۲) و (۳) مشخص شدند که به ترتیب اهمیت بشرح زیر است:

۱. "میزان جذب نیترات توسط گیاهان"^۱.

میانگین و انحراف معیار شاخص حساسیت

۲. برای این متغیر در حجم نمونه‌های مختلف

به ترتیب ۰/۴۵۶ و ۰/۰۲۶ است (جدول ۲).

نوسانات میانگین و انحراف معیار در نمونه-

های ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ تایی حدود ۰/۰۰۴ و

۰/۰۱۵ است. ضریب تغییرات برحسب حجم

نمونه ۰/۰۰۴ تا ۰/۰۰۸ است که نشان می-

دهد حجم نمونه تاثیر بسیار کمی در این

متغیر دارد.

۳. "نرخ نیترات زدایی". میانگین و انحراف-

معیار، شاخص حساسیت برای این متغیر در

حجم نمونه‌های مختلف به ترتیب

۰/۲۰۷ و ۰/۲۱ است (جدول ۲). نوسانات

میانگین و انحراف معیار در نمونه‌های ۵۰۰

تا ۲۰۰۰ تایی حدود ۰/۱۳ و ۰/۰۶ است.

ضریب تغییرات برحسب حجم نمونه ۰/۸۱

تا ۱/۰۷ است که نشان می‌دهد حجم نمونه

تاثیر کمی در این متغیر دارد.

۴. "آلی‌سازی"^۲. میانگین و انحراف معیار،

شاخص حساسیت برای متغیر آلی‌سازی در

حجم نمونه‌های مختلف به ترتیب ۰/۲۰۴ و

۰/۲۸ است (جدول ۳). نوسانات میانگین و

¹ Plant nitrate uptake

² Immobilization

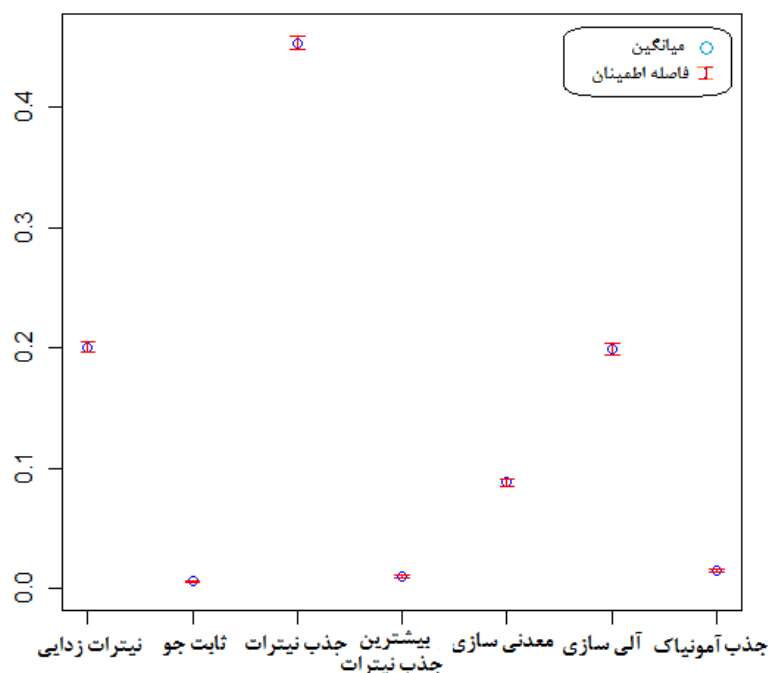
تحلیل حساسیت الگوی بار نیتروژن ورودی به آب رودخانه.... صفحه ۶۲۷

جدول (۲) - آمار توصیفی برآورد شاخص حساسیت متغیرهای ازت‌دهی، ثابت ازت هوا و میزان جذب نیترات

متغیر آماره‌ها	نیترات زدایی			تثبیت نیتروژن هوا			جذب نیترات		
	حجم نمونه			حجم نمونه			حجم نمونه		
	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
کمینه	۰/۳۸۶	۰/۳۹۵	۰/۴۰۸	۰/۰۰۲	۰/۱۶۱	۰/۱۶۴	۰/۱۵۶	۰/۰۱۱	۰/۰۰۲
چارک اول	۰/۴۳۳	۰/۴۴۱	۰/۴۴۲	۰/۰۰۵	۰/۱۹۳	۰/۱۹۱	۰/۱۹۵	۰/۰۲۱	۰/۰۰۸
میانه	۰/۴۶۵	۰/۴۵۸	۰/۴۵۶	۰/۰۰۵	۰/۲۰۸	۰/۲۰۲	۰/۲۱۶	۰/۰۲۴	۰/۰۱۱
میانگین	۰/۵۸	۰/۴۵۶	۰/۴۵۴	۰/۰۰۶	۰/۲۰۸	۰/۲۰۱	۰/۲۱۴	۰/۰۲۷	۰/۰۱۳
چارک سوم	۰/۴۷۹	۰/۴۷۴	۰/۴۶۶	۰/۰۰۷	۰/۲۲۵	۰/۲۲۵	۰/۲۳۱	۰/۰۳۲	۰/۰۱۷
بیشینه	۰/۵۳۶	۰/۵۰۸	۰/۵۰۱	۰/۰۱۱	۰/۶۴	۰/۲۶۴	۰/۲۹۲	۰/۰۶۶	۰/۰۳۵

جدول (۳) - آمار توصیفی برآورد اثر اصلی متغیرهای بیشترین میزان جذب نیترات، معدنی سازی، آلی سازی و میزان جذب آمونیوم

متغیر آماره‌ها	ماکزیمم جذب نیتروژنی			معدنی سازی			آلی سازی			میزان جذب آمونیاک		
	حجم نمونه			حجم نمونه			حجم نمونه			حجم نمونه		
	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰	۲۰۰۰
کمینه	۰/۰۱۱	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۱۴۳	۰/۱۴۵	۰/۱۶۴	۰/۰۶۵	۰/۰۵۲	۰/۰۶	۰/۰۱۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۲
چارک اول	۰/۰۲۴	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۱۸۷	۰/۱۸۸	۰/۱۹۱	۰/۰۸۳	۰/۰۷۹	۰/۰۹	۰/۰۲۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۷
میانه	۰/۰۳۴	۰/۰۲۱	۰/۰۱۴	۰/۲۰۸	۰/۲۰۵	۰/۲۰۱	۰/۰۸۸	۰/۰۹۵	۰/۱۰۷	۰/۰۲۸	۰/۰۱۵	۰/۰۱
میانگین	۰/۰۳۴	۰/۰۲۲	۰/۰۱۵	۰/۲۰۹	۰/۲۰۳	۰/۱۹۹	۰/۰۸۹	۰/۰۹۲	۰/۱۰۹	۰/۰۲۸	۰/۰۱۶	۰/۰۱
چارک سوم	۰/۰۴۲	۰/۰۲۷	۰/۰۱۸	۰/۲۳۲	۰/۲۱۸	۰/۲۱	۰/۰۹۲	۰/۱۰۳	۰/۱۲۶	۰/۰۳۳	۰/۰۱	۰/۰۱۳
بیشینه	۰/۰۶۴	۰/۰۴۱	۰/۰۲۴	۰/۲۶۹	۰/۲۴۵	۰/۲۳۲	۰/۱۰۷	۰/۱۲	۰/۱۷۰	۰/۰۵۷	۰/۰۳۴	۰/۰۱۷



شکل (۳) - فاصله اطمینان ۹۵٪ میانگین برآوردی شاخص حساسیت متغیرهای الگو INCA-N در حجم نمونه ۲۰۰۰

میانگین اثر اصلی متغیرهای تثبیت نیتروژن هوا^۱، جذب آمونیاک توسط گیاه^۲ و بیشینه جذب نیتروژنی^۳ به ترتیب برابر با ۰/۰۱۵۲، ۰/۰۲۳۴ و ۰/۰۱۸ است. این مقادیر شاخص‌های حساسیت این سه متغیر بسیار کوچک و نزدیک صفر می‌باشد. بنابراین مطالب فوق، بار نیتروژن ورودی به آب رودخانه نسبت به این سه متغیر حساسیتی نداشته (غیرضروراند) و می‌توان آن‌ها را از الگو کنار گذاشت. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که نسبت شاخص حساسیت میزان جذب نیترات توسط گیاهان به نیترات‌زدایی و آلی سازی به ترتیب حدود (۲/۲۶ - ۲/۱۳۵)، (۲/۲۸ - ۲/۱۸) و (۲/۱۸ - ۲/۱۵) برابر و نسبت به نرخ معدنی‌سازی (۲/۱۸ - ۴/۱۶) برابر است. در نتیجه اهمیت متغیر جذب نیترات توسط گیاهان تقریباً دو برابر متغیرهای نیترات‌زدایی و آلی سازی است. این نسبت برای نرخ معدنی‌سازی بیش از چهار برابر است. همچنین نسبت اهمیت نرخ نیترات‌زدایی و آلی‌سازی به معدنی‌سازی به ترتیب حدود (۲/۳۳ - ۱/۹۴) و (۲/۲۶ - ۱/۹) برابر است. لذا اهمیت معدنی‌سازی از سه متغیر دیگر کمتر است و می‌توان در شرایط بحرانی این متغیر را نیز از الگو کنار گذاشت. بنابراین تعداد متغیرهای ضروری که چهار عدد به‌دست آمد قابل کاهش به سه متغیر در شرایط بحرانی است. نمودار فاصله اطمینان بوت استریپی برای میانگین برآورد شاخص حساسیت برآوردی هر متغیر برای درک بهتر در حجم نمونه ۲۰۰۰ ترسیم شده است (شکل ۳). شکل (۳) نیز

میانگین اثر اصلی متغیرهای تثبیت نیتروژن هوا^۱، جذب آمونیاک توسط گیاه^۲ و بیشینه جذب نیتروژنی^۳ به ترتیب برابر با ۰/۰۱۵۲، ۰/۰۲۳۴ و ۰/۰۱۸ است. این مقادیر شاخص‌های حساسیت این سه متغیر بسیار کوچک و نزدیک صفر می‌باشد. بنابراین مطالب فوق، بار نیتروژن ورودی به آب رودخانه نسبت به این سه متغیر حساسیتی نداشته (غیرضروراند) و می‌توان آن‌ها را از الگو کنار گذاشت. نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که نسبت شاخص حساسیت میزان جذب نیترات توسط گیاهان به نیترات‌زدایی و آلی سازی به ترتیب حدود (۲/۲۶ - ۲/۱۳۵)، (۲/۲۸ - ۲/۱۸) و (۲/۱۸ - ۲/۱۵) برابر و نسبت به نرخ معدنی‌سازی (۲/۱۸ - ۴/۱۶) برابر است. در نتیجه اهمیت متغیر جذب نیترات توسط گیاهان تقریباً دو برابر متغیرهای نیترات‌زدایی و آلی سازی است. این نسبت برای نرخ معدنی‌سازی بیش از چهار برابر است. همچنین نسبت اهمیت نرخ نیترات‌زدایی و آلی‌سازی به معدنی‌سازی به ترتیب حدود (۲/۳۳ - ۱/۹۴) و (۲/۲۶ - ۱/۹) برابر است. لذا اهمیت معدنی‌سازی از سه متغیر دیگر کمتر است و می‌توان در شرایط بحرانی این متغیر را نیز از الگو کنار گذاشت. بنابراین تعداد متغیرهای ضروری که چهار عدد به‌دست آمد قابل کاهش به سه متغیر در شرایط بحرانی است. نمودار فاصله اطمینان بوت استریپی برای میانگین برآورد شاخص حساسیت برآوردی هر متغیر برای درک بهتر در حجم نمونه ۲۰۰۰ ترسیم شده است (شکل ۳). شکل (۳) نیز

¹ Nitrogen fixation

² Plant ammonium uptake

³ Max nitrate uptake

نسبت به عوامل دوم و سوم حدود ۲ برابر و نسبت به عامل چهارم حدود چهار برابر است. سایر عوامل نظیر نیتروژن هوا، جذب آمونیاک توسط گیاه و ماکزیمم جذب نیتروژنی تاثیر معنی داری بر بار نیتروژن ندارند. این بدان معناست که آلودگی منابع آب توسط ترکیبات نیتروژنی را می توان در درجه اول با مدیریت کردن بهینه میزان جذب نیترات توسط گیاهان، نرخ نیترات زدایی و آلی سازی تا حدود زیادی کنترل نمود. محاسبه مجموع اثرات متقابل این عوامل بر یکدیگر نیز نشان داد که این میزان ناچیز بوده و به عبارت دیگر میتوان INCA-N را الگویی با خاصیت جمعی دانست بطوریکه عوامل یادشده تابعی از مجموع موزون آنها است. شناخت جمعی بودن الگو نیز تصویر واضح تری از شناخت فرآیند حاکم بر بار نیتروژن ورودی به رودخانه را مهیا می سازد (جدول ۲ و ۳).

امید است در پژوهش های آتی با اقداماتی همچون: تحلیل حساسیت مدل های کامپیوتری اکوسیستم های آبی، جمع آوری آمارو اطلاعات ایستگاه های آب سنجی، بومی سازی الگوی INCA-N، بازنگری و انطباق پنج مولفه اصلی این الگو با ویژگی های اقلیمی ایران، مدیریت منابع آبی و تحلیل حساسیت عوامل موثر بر نیتروژن ورودی به آب رودخانه های ایران (که به عنوان یکی از آلاینده های منابع آبی محسوب می شود) موجبات ارتقا کیفیت آب شرب و کیفیت زندگی اکوسیستم های آبی ایران فراهم شود.

نتایج و مطالب بیان شده فوق را تایید می کند. کوتاه بودن طول فاصله اطمینان حاکی از دقت بالا و نوسانات کم (واریانس) برآوردها دارد.

۴. بحث و نتیجه گیری

مسئله ی تقلیل تعداد متغیرها همواره یکی از چالش های است که محققین شاخه های مختلف علوم و بخصوص محیط زیست، هنگام مدل سازی پدیده های طبیعی با آن مواجه هستند تا با انجام آن بتوانند تصویر واضح تری از فرآیند مورد بررسی ارائه و منابع موجود را صرف کنترل عوامل تعیین کننده نمایند. این مسئله نیز در حوزه ی مدل های (الگوهای) رایانه ای نیز صادق است به طوری که تشخیص عوامل مهم و در نتیجه کاهش تعداد آنها می تواند با روشهای تحلیل حساسیت انجام گیرد. انبوه تعداد ورودی ها و هزینه گزاف زمانی اجرای این الگوها باعث شده است که برای نیل به مقصود، رهیافت هایی ارائه شود. در این مقاله توانستیم با بکار بردن روش کارای واریانس مبنای طرح متعادل تصادفی برای الگوی رایانه ای INCA-N، عوامل موثر بر میزان بار نیتروژن ورودی به حوضه رودخانه توید را شناسایی کنیم. نتایج استفاده از محک شاخص اثرات اصلی نشان داد که عوامل "میزان جذب نیترات توسط گیاهان"، "نرخ نیترات زدایی"، "آلی سازی" و "معدنی سازی" به ترتیب موثرترین فاکتورها بر نیتروژن ورودی به آب رودخانه بشمار می آیند. طوری که تاثیر عامل اول

References:

- Archer, G. E. B., Saltelli, A. and Sobol, I.M., 1997. Sensitivity Measures, Anova-Like Techniques and the Use of Bootstrap, *J. of Statist. Comput.*, Vol. 58, pp. 99-120.
- Bhattacharrya, K.G., and Gupta, S.S. 2006. Pb (II) uptake by kaolinite and montmorillonite in aqueous medium: Influence of acid activation of the clays. *J. of Colloids Surf.*, 277, 191-200.
- Campolongo, F., Cariboni J. and Saltelli. A., 2007. An effective screening design for sensitivity analysis of large models. *J. Environmental Modelling and Software*. Vol. 22, p.p 1509–1518.
- Cuiker, R.I., Schaibly, J. H., Schuler, A. G., 1975. Study of the Sensitivity of coupled Reaction System to Uncertainties in Rate Coefficient. III Analysis of the Approximations. *J. of Chemical Physics* 63, 1140–1149.
- Cukier, R. I., Fortuin, C. M., Schuler, K. E., Petschek, A. G., and Schaibly, J. H., 1973, Study of the sensitivity of coupled reaction systems to uncertainties in rate coefficients. in theory, *J. of Chemical Physics*, 59, 3873–3878.
- Cukier, R., Levine, H., and Shuler, K., 1978. Nonlinear sensitivity analysis of multiparameter model systems, *J. of Computational Physics* 26, 1–42.
- Helton, J.C., Johnson J.D., Salaberry C.J., Storlie C.B., 2006. Survey of sampling based methods for uncertainty and sensitivity analysis. *J. Reliability Engineering and System Safety*, Vol. 91,p.p 1175–1209.
- Homma, T. and Saltelli A.,1996. Importance measures in global sensitivity analysis of nonlinear models. *J. of Reliability Engineering and System Safety*, Vol 52, p.p 1-17.
- Hornberger, G. and Spear, R., 1981. An approach to the preliminary analysis of environmental systems. *J. of Environmental Management*, Vol. 7,p.p 7–18.
- Iman, R. and Hora S., 1990. A robust measure of uncertainty importance for use in fault tree system analysis. *J. of Risk Analysis* , Vol 10(3),p.p 401–403.
- Ishigami, T., and Homma, T., 1996. An importance qualification technique in uncertainty analysis for compute models, in: *Proceedings of the Isuma '90. First International Symposium on Uncertainty Modelling and Analysis*, University of Maryland, 3–5 December.
- Jarvie, H. P., Wade, A. J., Butterfield, D., Whitehead, P. G., Tindall, C. I., Virtue, W. A., Dryburgh, W. and McCraw, A. 2002. Modelling nitrogen dynamics and distributions in the River Tweed, Scotland: an application of the INCA-N model, *J. of Hydrol. Earth Sys. Sci.*, 6, 443-453.
- Krzykacz-Hausmann, B.,1990. Gesellschaft fuer Reaktor Sicherheit (GRS) MbH. Technical Report GRS-A-1700, Garching.
- McKay, M., 1996. Variance-based methods for assessing uncertainty importance in nureg-1150 analysis. Technical Report LA-UR-96-2695, 1, Los Alamos Laboratories.
- Medici, C., Bernal, S., Butturini, A., Sabater, F., Martin, M., Wade, A. J. and Frances, F., 2010. Modelling the inorganic nitrogen behaviour in a small Mediterranean forested catchment, Fuirosos (Catalonia), *J. of Hydrology and Earth System Sciences*, 14 (2). pp.223-237.
- Mishra, P.C., and Patel, R.K., 2009. Use of agricultural waste for the removal of nitrate-nitrogen from aqueous medium. *J. of Environmental Management*, 90, 519-522.
- Morris, M. D. 1991. Factorial sampling plans for preliminary computational experiments. *J. of Technometrics* , Vol. 33, p.p 161–174.
- Ozturk, N., and Ennil Kose, T., 2008. A kinetic study of nitrite adsorption onto sepiolite and powdered activated carbon. *J. of Desalination*, 223, 174-179.
- Ranzin., M., Forti, M.C., Whitehead, P.G., Arcova, F.C.S., Cicco V.de and Wade A.J. 2007. Integrated Nitrogen Catchment model (INCA-N) applied to a tropical catchment in the Atlantic Forest, Sao Paulo, Brazil, *J. Of Hydrology and Earth System Sciences*, 11 (1). pp.614-622.
- Saltelli A, and Sobol' IM., 1995. About the use of rank transformation in sensitivity analysis model. *J.*

of Reliab Eng Syst Saf 50:225–39.

Saltelli A, Tarantola S, Chan K. A., 1999. quantitative model-independent method for global sensitivity analysis of model output, *J. of Technometrics*;41(1).

Saltelli A., Andres, and Homma, T., 1993. Some new techniques in sensitivity analysis of model output, *J. of Comput. Statist. Data Anal.*, Vol 15, p.p 211–238.

Saltelli, A., 2002. Sensitivity Analysis for Importance Assessment. *J. of Risk Analysis*, vol 22, No. 3.

Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M., and Tarantola, S. 2008. *Global sensitivity analysis The Primer*, John Wiley & Sons Ltd, Vol. 1,

Saltelli, A., and Sobol' I.M., 1995. About the use of rank transformation in sensitivity analysis of model output", *J. of Reliability Engrg. Syst. Safety* 50, p.225–239.

Saltelli, A., Tarantola, S., Campolongo, F., and Ratto, M., 2004. *Sensitivity Analysis in Practice*, Ed. 1, John Wiley & Sons Ltd.

Santner, T. J., Williams, B. J., and Notz, W. I., 2003. *The Design and Analysis of Computer Experiments*, Springer, New York, Vol. 1.

Shahsavani, D., and Grimvall, A., 2011. Variance-based sensitivity analysis of model outputs using surrogate models, *J. of Environmental Modelling and Software* 26(6), 723-730.

Sobol, I.M. 1998. On quasi-Monte Carlo integrations, *J. of Mathematics and Computers in Simulation*, Vol 47, p.p 103±112.

Sobol, I. M. 1993. Sensitivity analysis for non-

linear mathematical models, *J. Mathematical Modelling and Computational Experiment* 1, 407–414. English translation of Russian original paper Sobol' (1990).

Tarantola, S. Gatellia, D., and Mara, T. A., 2006. Random balance designs for the estimation of first order global sensitivity indices. *J. of Reliability engineering and system safety* 91(6), 717-727.

Wade, A. J., Durand, P., Beaujouan, V., Wessel, W. W., Raat, K. J., Whitehead, P. G., Butterfield, D., Rankinen, K., and Lepisto, A., 2002. A nitrogen model for European catchments: INCA-N, new model structure and equations. *J. Of Hydrology and Earth System Sciences* 6 559-582.

Whitehead, P. G., Wilson, E. J., and Butterfield, D., 1998a. A semi-distributed nitrogen model for multiple source assessments in catchments (INCA-N): Model structure and process equations. *J. Of Science of the Total Environment* 210/211 547-558.

Whitehead, P., Butterfield, D. and Wade, A., 2008. Potential impacts of climate change on river water quality, Environment Agency, Science Report – SC070043/SR1.

Whitehead., P., 2007. A Water Quality Modelling Study of Roşia Montană and the Abrud, Aries and Mures River Systems: Assessing Restoration Strategies and the Impacts of Potential Pollution Events model systems, *J. of Computational Physics* 26, 1–42.

Xing, X., Gao, B., Yue, Q., and Zhong, Q.Q., 2010. Preparation of agricultural by-product based anion exchanger and its utilization for nitrate and phosphate removal. *J. of Bioresource Technology*, 101, 8558-8564

Sensitivity analysis of nitrogen river water loading model by random balance design variance based method, Case Study: Tweed river basin

Majid Janfada^{1*}, Davood Shahsavani²

1. M.Sc. in Statistics, Shahrood University, mathematics Faculty, Statistics group
2. Assistant Professor, Shahrood University, mathematics Faculty, Statistics group

Accepted: 15-Sep-2015 Received: 29-Sep.-2014

Abstract

The existence too much nitrogen compounds in water is one of the threatening factors of aquatic life and humans. Thus understanding and controlling the effecting variable on sources of nitrogen entering the water is crucial. Investigate of important variable symptom variety is impossible by sampling. Its can detect effective variable by using of mathematical technique and innovation computer approach simulation and neglected the variables that has little effect in practically that finance source consume for control in a count of optimize variable. Several models have been developed to estimate this phenomenon. In this article used of INCA-N to sensitivity analysis and variable reduce. INCA-N has different variable input thus detection of affectless variable of INCA-N is important. Variance based method doing well detecting of important variable and interaction between and sassing main sensitivity index of output model respected these variables. In this paper, further introduce variance based approach and estimation of sensitivity index with random balance design also defray to sensitivity analysis and reduce variables of INCA-N model in the tweed river. The results of sensitivity analysis in 500, 1000 and 2000 sample size and investigated uncertainty of result did by 50 repeating in samples. The result showed that four of seven variables (nitrate uptake rate by plants, denitrification rates, immobilization and mineralization) of INCA-N are important. Three variable nitrogen fixation, ammonium planet uptake and maximum nitrogen uptake is no important. These four necessary variables corresponding with main effect (0.456, 0.207, 0.204 and 0.09. Also Interaction between this variable are so weak (maximum= 0.036) that can surrender of them. Thus random balance design sensitivity analysis method has good efficiency in reduction of variable these phenomena.

Keywords: Nitrogen, Variance based Sensitivity Analysis, Random Balance Design, INCA-N model.

* Corresponding author; Tel: +98-273344834

Email:Ma_janfada65@yahoo.com